

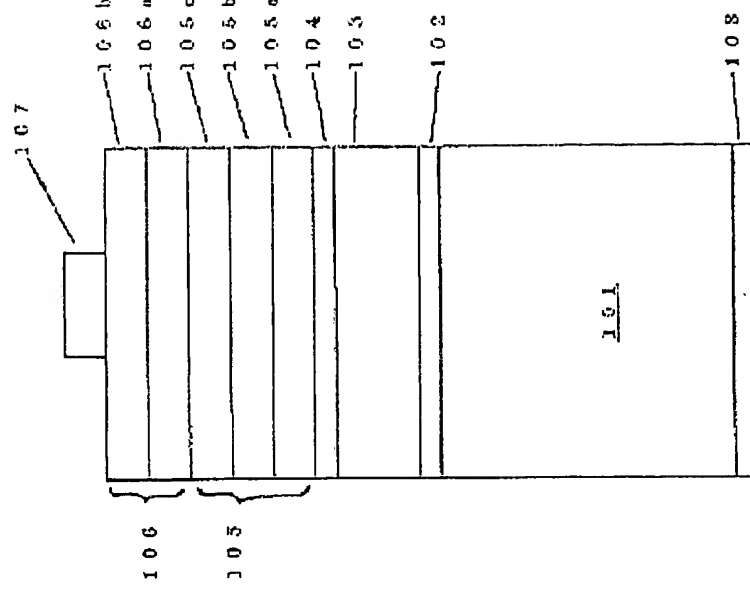
AlGaInP LIGHT-EMITTING DIODE

Patent number: JP2001044496
 Publication date: 2001-02-16
 Inventor: TAKEUCHI RYOICHI; NABEKURA WATARU; MATSUZAWA KEIICHI; UDAGAWA TAKASHI
 Applicant: SHOWA DENKO KK
 Classification: H01L33/00
 - international:
 - european:
 Application number: JP19990220838 19990804
 Priority number(s):

Abstract of JP2001044496

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the structure of a window layer that can have light emission extracted efficiently to the outside, and can obtain satisfactory ohmic contact with a III-V compound semiconductor layer having a low resistance in an AlGaInP LED with the window layer made of a transparent metal oxide having conductivity.

SOLUTION: A window layer is composed of a first metal oxide layer 106a, that is provided at the side of a light emission part and has a first refractive index n_1 , and a second metal oxide layer 106b that is provided at a side opposite to the light emission part of the first metal oxide layer 106a and has a second refractive index n_2 which is smaller than the first one ($n_1 > n_2$). The first metal oxide layer 106a is made of zinc oxide (ZnO), and the second metal oxide layer 106b is made of a compound oxide of indium oxide (In) and tin oxide (Sn).



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-44496

(P2001-44496A)

(43)公開日 平成13年2月16日(2001.2.16)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-マ-ト*(参考)

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

B 5 F 0 4 1

M

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 7 頁)

(21)出願番号 特願平11-220838

(22)出願日 平成11年8月4日(1999.8.4)

(71)出願人 000002004

昭和電工株式会社

東京都港区芝大門1丁目13番9号

(72)発明者 竹内 良一

埼玉県秩父市大字下影森1505番地 昭和電
工株式会社秩父工場内

(72)発明者 鍋倉 亙

埼玉県秩父市大字下影森1505番地 昭和電
工株式会社秩父工場内

(74)代理人 100094237

弁理士 矢口 平

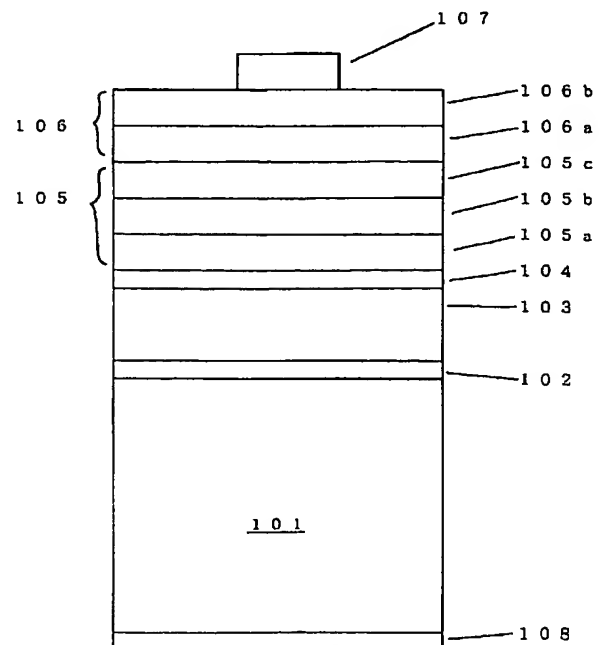
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 A l G a I n P 発光ダイオード

(57)【要約】

【課題】透明で導電性を有する金属酸化物からなる窓層を備えたA l G a I n P L E Dにおいて、発光を外部に効率良く取り出すことが可能で、I I I - V 族化合物半導体層と低抵抗で良好なオーミック接触を得ることができる窓層の構造を提供する。

【解決手段】窓層を、発光部側に設けられた第1の屈折率 n_1 を有する第1の金属酸化物層と、該第1の金属酸化物層の発光部と反対側に設けられた第1の屈折率より小さい第2の屈折率 n_2 ($n_1 > n_2$) を有する第2の金属酸化物層とから構成する。第1の金属酸化物層が酸化亜鉛(Z n O) からなり、第2の金属酸化物層がインジウム(I n) 酸化物と錫(S n) 酸化物の複合酸化物からなる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 p形砒化ガリウム (GaAs) 単結晶からなる基板と、該基板上に順次積層されたリン化アルミニウム・ガリウム・インジウム (AlGaInP) 混晶からなるp形下部クラッド層、発光層およびn形上部クラッド層から構成された発光部と、該発光部上に設けられた透明で導電性を有する金属酸化物層からなる窓層とを備えたAlGaInP発光ダイオードに於いて、前記窓層が、前記発光部側に設けられた第1の屈折率 n_1 を有する第1の金属酸化物層と、該第1の金属酸化物層の発光部と反対側に設けられた第1の屈折率より小さい第2の屈折率 n_2 ($n_1 > n_2$) を有する第2の金属酸化物層とを有することを特徴とするAlGaInP発光ダイオード。

【請求項2】 前記第1の金属酸化物層が、前記発光部または発光部上に別に形成されたIII-V族化合物半導体層に接して形成され、該第1の金属酸化物層が酸化亜鉛 (ZnO) からなり、前記第2の金属酸化物層がインジウム (In) 酸化物と錫 (Sn) 酸化物の複合酸化物からなることを特徴とする請求項1に記載のAlGaInP発光ダイオード。

【請求項3】 前記第1の金属酸化物層を構成する酸化亜鉛層のキャリア濃度が、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $7 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項2に記載のAlGaInP発光ダイオード。

【請求項4】 前記第1の金属酸化物層を構成する酸化亜鉛層の比抵抗が、 $1 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上 $3 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下であることを特徴する請求項2に記載のAlGaInP発光ダイオード。

【請求項5】 半導体単結晶からなる基板と、該基板上に順次積層されたリン化アルミニウム・ガリウム・インジウム (AlGaInP) 混晶からなる発光部と、該発光部上に設けられた透明で導電性を有する金属酸化物層からなる窓層とを備えたAlGaInP発光ダイオードに於いて、前記窓層が複数の金属酸化物層からなり、該複数の金属酸化物層は、発光層より発光の取り出し方向に距離を隔てるに従い、順次屈折率が小さくなるように配置されていることを特徴とするAlGaInP発光ダイオード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、高輝度のAlGaInP発光ダイオードの構造に係わり、特に透明で導電性を有する金属酸化物からなる窓層を有するAlGaInP発光ダイオードに関する。

【0002】

【従来の技術】 緑色、黄色乃至赤橙色の発光素子として、pn接合型のダブルヘテロ (DH) 構造のリン化アルミニウム・ガリウム・インジウム (AlGaInP) 混晶からなる発光部を有するAlGaInP発光ダイオ

ード (LED) が知られている (Appl. Phys. Lett., 61 (15) (1992)、1775~1777頁参照)。特に、インジウム組成比を約0.5とするリン化アルミニウム・ガリウム・インジウム ($(\text{Al}_\alpha \text{Ga}_{1-\alpha})_{0.5} \text{In}_{0.5} \text{P}$; $0 \leq \alpha \leq 1$) は、砒化ガリウム (GaAs) 単結晶と良好な格子整合性を果たせる利点もあって (Appl. Phys. Lett., 57 (27) (1990)、2937~2939頁参照)、DH構造の発光部をなすクラッド (clad) 層や発光層 (活性層) を構成するために利用されている (Appl. Phys. Lett., 58 (10) (1991)、1010~1012頁参照)。

【0003】 基板と反対方向にある発光層からの発光を取り出す側のクラッド層をn形層としたLEDをn-サイドアップ型LED、p形層としたLEDをp-サイドアップ型LEDと称する。n-サイドアップ型あるいはp-サイドアップ型の何れにしても、従来のAlGaInPLEDでは、上部クラッド層の上に、発光部からの発光を効率的に外部へ取り出すための窓層 (ウィンドウ層) が配置されている (SPIE, Vol. 3002 (1997)、110~118頁参照)。窓層は発光に対して透明な禁止帯幅の大きな材料から構成する必要があり、従来のAlGaInPLEDでは、砒化アルミニウム・ガリウム ($\text{Al}_c \text{Ga}_{1-c} \text{As}$; $0 \leq c \leq 1$) 結晶から窓層を構成する例がある (上記のAppl. Phys. Lett., 58 (1991) 参照)。また、リン化ガリウム (GaP) から構成する例も知れている (J. Electron. Mater., 20 (1991)、1125~1130頁参照)。また、リン化砒化ガリウム (GaAsP)、リン化ガリウム・インジウム (GaInP) またはリン化アルミニウム・ガリウム・インジウム (AlGaInP) から窓層を構成する技術が開示されている (特開平11-17220号公報明細書参照)。

【0004】 AlGaInPLEDの窓層の材料としては、上記のようなIII-V族化合物半導体材料に加え、例えばアメリカ合衆国特許第5,481,122号には、酸化インジウム・錫 (indium-tin oxide: 略称ITO) からなる透光性の金属酸化物の窓層が記載されている。さらに、特開平11-17220号によれば、酸化インジウム・錫、酸化インジウム、酸化錫、酸化亜鉛や酸化マグネシウムからなる導電性を有し透光性の金属酸化物層を、リン化ガリウム (GaP)、リン化砒化ガリウム (GaAsP)、リン化ガリウム・インジウム (GaInP) または砒化ガリウム (GaAs) からなるコンタクト層上に設ける手段が開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、特に緑色の発光を射出する ($\text{Al}_\alpha \text{Ga}_{1-\alpha})_{0.5} \text{In}_{0.5} \text{P}$ ($0 \leq \alpha$

≤1) 発光層を有するAlGaInPLEDでは、上記のIII-V族化合物半導体を窓層に用いた場合、禁止帯幅が小であるため発光層からの発光が窓層に吸収されてしまう問題があった。

【0006】また、III-V族化合物半導体層上にITO等の金属酸化物層を積層させた構造の窓層では、化合物半導体層と金属酸化物層との間に低いオーミック(Ohm ic)接触抵抗が安定して得られないことが実用上の問題となっていた。このため、金属酸化物層を積層するIII-V族化合物半導体層には、約 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ を越える高いキャリア濃度を有する半導体層を用いることが必要とされていた(特開平11-17220号参照)。しかし、上記のような高いキャリア濃度のIII-V族化合物半導体層を得るために高濃度の不純物をIII-V族化合物半導体層にドーピングすると、III-V族化合物半導体層の結晶性は悪化するのが通例である。このため、高キャリア濃度でかつ結晶欠陥密度が小さく、比抵抗や移動度に優れたIII-V族化合物半導体層を得るのは容易ではなかった。

【0007】また、一般に酸化亜鉛等の金属酸化物では、キャリア濃度が高い程、即ち通常は比抵抗が低くなる程、透光性が低下する。従って、半導体層とのオーミック接触を得るために金属酸化物層を高キャリア濃度とすると、金属酸化物層からなる窓層の透光性が低下する。このため、金属酸化物からなる窓層の電極特性及び発光の外部への取り出し効率の双方の特性を満足なものとするには、金属酸化物からなる窓層のキャリア濃度や比抵抗について規定を設ける必要があった。

【0008】さらに、透光性の金属酸化物の種類如何によれば、電極の形成に支障を生じる場合がある。例えば、透光性の金属酸化物のひとつである酸化亜鉛(ZnO)は両性酸化物であり、酸及びアルカリの双方に容易に溶解する(「岩波理化学辞典第3版」(岩波書店、1976年4月5日発行 第3版第7刷)、508頁参照)。このため、酸化亜鉛からなる金属酸化物層を窓層の最表層として露出すると、一般的なフォトリソグラフィ工程等に伴う酸性或いはアルカリ性エッチング剤により酸化亜鉛層が溶解、消失する問題が発生していた。

【0009】以上、従来技術の問題点を総括すれば、

(イ) III-V族化合物半導体からなる窓層では、禁止帯幅が十分大きくないため、AlGaInP発光層からの緑色の発光を充分効率良く外部へ透過するに至らないこと、(ロ) III-V族化合物半導体層上に透明な金属酸化物からなる窓層を設ける構造においては、金属酸化物からなる窓層との低抵抗の接触をもたらす高キャリア濃度で且つ低比抵抗の結晶性に優れたIII-V族化合物半導体層を形成することが困難であること、

(ハ) 金属酸化物層を高キャリア濃度とすれば、金属酸化物層の透光性が低下してしまい、オーミック特性及び発光に対する透光性の双方を満足する窓層として備える

べき金属酸化物層のキャリア濃度等の好適な範囲が不明であること、及び(ニ) 金属酸化物層の種類に依っては、オーミック電極の形成に伴う加工に難を伴うこと、特に酸化亜鉛からなる金属酸化物層を窓層の最表層として露出させる構造の窓層では、酸化亜鉛の消失が電極形成工程上で容易には回避できないことが挙げられる。

【0010】本発明は、上記の従来技術の問題点を克服するためになされたもので、その目的は透明で導電性を有する金属酸化物からなる窓層を備えたn-サイドアップ型のAlGaInPLEDにおいて、(1) 発光を外部に効率良く取り出すことが可能で、(2) III-V族化合物半導体層と低抵抗で良好なオーミック接触を得ることができ、(3) 緑色から赤色の光に対して透光性に優れ、(4) 通常の加工技術をもって電極を形成することができる金属酸化物からなる窓層の構造を提示することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明では、上記の(1)の目的については、屈折率の大小に鑑みて発明された金属酸化物層の積層構成をもって解決する。また、(2)及び(3)の目的については、窓層構成材料の電気的特性と透過率とを規定することをもって解決する。すなわち本願の請求項1の発明は、p形砒化ガリウム(GaAs)単結晶からなる基板と、該基板上に順次積層されたリン化アルミニウム・ガリウム・インジウム(AlGaInP)混晶からなるp形下部クラッド層、発光層およびn形上部クラッド層から構成された発光部と、該発光部に設けられた透明で導電性を有する金属酸化物層からなる窓層とを備えたAlGaInP発光ダイオードに於いて、前記窓層が、前記発光部側に設けられた第1の屈折率 n_1 を有する第1の金属酸化物層と、該第1の金属酸化物層の発光部と反対側に設けられた第1の屈折率より小さい第2の屈折率 n_2 ($n_1 > n_2$)を有する第2の金属酸化物層とを有することを特徴とする。

【0012】また請求項2の発明は、請求項1に記載のAlGaInP発光ダイオードにあって、前記第1の金属酸化物層が、前記発光部または発光部に別に形成されたIII-V族化合物半導体層に接して形成され、該第1の金属酸化物層が酸化亜鉛(ZnO)からなり、前記第2の金属酸化物層がインジウム(In)酸化物と錫(Sn)酸化物の複合酸化物からなることを特徴とする。

【0013】また請求項3の発明は、請求項2に記載のAlGaInP発光ダイオードにあって、前記第1の金属酸化物層を構成する酸化亜鉛層のキャリア濃度が、 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $7 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする。

【0014】また請求項4の発明は、請求項2に記載のAlGaInP発光ダイオードにあって、前記第1の金

属酸化物層を構成する酸化亜鉛層の比抵抗が、 $1 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上 $3 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下であることを特徴する。

【0015】また請求項5の発明は、半導体単結晶からなる基板と、該基板上に順次積層されたリン化アルミニウム・ガリウム・インジウム (AlGaInP) 混晶からなる発光部と、該発光部上に設けられた透明で導電性を有する金属酸化物層からなる窓層とを備えたAlGaInP発光ダイオードに於いて、前記窓層が複数の金属酸化物層からなり、該複数の金属酸化物層は、発光層より発光の取り出し方向に距離を隔てるに従い、順次屈折率が小さくなるように配置されていることを特徴とする。

【0016】

【発明の実施の形態】本発明では、窓層を、屈折率を相違する少なくとも2層の透明で導電性を有する金属酸化物層を重ねさせて構成する。そして、窓層を2層の金属酸化物層から構成する場合、AlGaInP発光ダイオードの発光部により近接する側の第1の金属酸化物層を、屈折率 n_1 とする第1の金属酸化物層から構成し、第1の金属酸化物層の発光部と反対側に設けられた第2の酸化物層を、 n_1 より小さな屈折率 n_2 ($n_1 > n_2$) を有する金属酸化物層から構成する。本発明では、窓層を3層以上の金属酸化物層から構成しても良い。例えば窓層を3層の金属酸化物層から構成する場合は、上記の第2の金属酸化物層の第1の酸化物層と反対側に設ける第3の酸化物層は、第2の金属酸化物層の屈折率 n_2 より小さい屈折率を有する金属酸化物層から構成する。すなわち本発明では、窓層を複数の透明で導電性を有する金属酸化物層から構成し、該複数の金属酸化物層は、発光層より発光の取り出し方向に距離を隔てるに従い、順次屈折率が小さくなるように金属酸化物の材料を選択する。このように光の取り出し方向に順次屈折率が小さくなるような屈折率の分布を有する窓層は、発光層から出射される発光を外部へ効率良く取り出す作用を有する。

【0017】また、窓を構成する金属酸化物層のうち、リン化アルミニウム・ガリウム・インジウム (AlGaInP) 混晶からなる発光部に最も近接して設けられる金属酸化物層は、AlGaInPよりも小さな屈折率を有する金属酸化物から構成するのが好ましい。

【0018】また、 n -サイドアップ型のAlGaInPLEDの光の取り出し方向の表面となる n 形のIII-V族化合物半導体層上に窓層を形成する場合、窓層は n 形の導電性を呈する金属酸化物から構成するのが好ましい。特に第1の金属酸化物層が、前記発光部または発光部上に別に形成されたIII-V族化合物半導体層に接して形成される場合、発光部側の第1の金属酸化物層は、屈折率を約2.0とする n 形の酸化亜鉛 (ZnO) から構成するのが望ましい。酸化亜鉛はIII族元素が数重量パーセント (wt. %) の濃度でドーピングされ

ると低抵抗となるため、光の取り出し方向の表面となる n 形の発光部または発光部上に別に形成されたIII-V族化合物半導体層との良好なオーミック接触が達成される。なお、上記の酸化亜鉛からなる金属酸化物層は、重量百分率にして、50wt. %以上の酸化亜鉛を成分として含めば良い。例えば、酸化亜鉛を50wt. %以上含み残部を酸化インジウムとする酸化インジウム・亜鉛 (indium zinc oxide) 複合酸化物から第1の金属酸化物層を構成しても良い。

【0019】また、第1の金属酸化物層の発光部と反対側に設けられる第2の金属酸化物層は、インジウム (In) 酸化物と錫 (Sn) 酸化物の複合酸化物 (インジウム・錫酸化物: ITO) から構成するのが好ましい。ITOは屈折率が約1.9である。このため、第1の金属酸化物層を酸化亜鉛から構成し、第2の金属酸化物層をITOから構成してなる窓層は、発光を外部に取り出すに特に優位に作用する。また、ITOからなる第2の金属酸化物層が第1の金属酸化物層である酸化亜鉛層を覆うことにより、化学的耐性が比較的弱い酸化亜鉛層が表面に露出するのを防止できる。このようにITO層が酸化亜鉛層の保護層として働くことにより、素子化プロセスに於いて酸化亜鉛層がエッチング等により溶解、消失することが回避され安定してLEDを製造できる。

【0020】第1の酸化物層をなす n 形酸化亜鉛層は、AlGaInP混晶からなる発光部または該発光部上に別に形成されたIII-V族化合物半導体層とのオーミック接触をなす役目を担う層であるから、キャリア濃度を高くするのが好ましいのは勿論である。しかし、 n 形の伝導を呈し、しかもAlGaInP混晶からなる発光部または該発光部上に別に形成されたIII-V族化合物半導体層との好適なオーミック接触をなす酸化亜鉛層の電気的仕様は従来知られていなかった。本発明では、前記発光部または発光部上に別に形成されたIII-V族化合物半導体層に接して形成される酸化亜鉛層の好適なキャリア濃度の範囲は約 $5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $7 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを見出した。さらに好適なキャリア濃度の範囲は、 $8 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。酸化亜鉛層のキャリア濃度は通常のホール (Hall) 効果測定法により求められる。

【0021】上記の酸化亜鉛層は、一般的な高周波スパッタリング法や有機金属化学気相堆積法 (MOCVD法) またはレーザーアブレーション法により成膜できる。しかし上記の成長手段により、単結晶を主体とする酸化亜鉛層を形成しようとすると、基板の温度を500℃を越える高温とすることが余儀なくされる。この様な高温では、導電性に優れる酸化亜鉛層を安定して成膜することはできない。本発明では、導電性の良い酸化亜鉛層を得るために、多結晶或いは非晶質を主体とする酸化亜鉛層から第1の金属酸化物層を構成するのが好ましい。多結晶とは、単結晶と非晶質の混合体や配向方位を

相違する単結晶の集合体を指す。特に、六方晶ウルツ鉱結晶型の酸化亜鉛にあって、C軸方向に優勢に成長した単結晶の集合体からなる多結晶の酸化亜鉛層では、横（水平）方向にLEDの駆動電流を拡散する働きが顕著であり、電流拡散作用を備えた窓層の構成材料として好ましく利用できる。

【0022】高いキャリア濃度のn形の酸化亜鉛層を得るためには、例えば、アルミニウム（Al）、ガリウム（Ga）やインジウム（In）等のIII族元素を不純物として酸化亜鉛に高濃度に添加する必要がある。しかし、高濃度に上記の不純物を添加すると酸化亜鉛層の結晶性は悪化し、それに伴い可視光帯域に於ける光の透過率も低下する。結晶性の程度は電子移動度や、それに関係する比抵抗の大小として計測される。従って、本発明では、可視光帯域、特にAlGaInP混晶から出射され得る、波長を約510nmから約650nmとする緑色から赤色に及ぶ可視光帯域に於ける高い光の透過率を確保するため、酸化亜鉛層の比抵抗は、 $1 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上 $3 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の範囲とするのを好適とする。 $3 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ を越えて比抵抗を大とする酸化亜鉛層は、上記の可視光帯域に於いて平均して80%以上の光の透過率を与えるが、前記発光部または発光部上に別に形成されたIII-V族化合物半導体層とのオーミック接触が悪化するため好ましくはない。

【0023】上記の如くキャリア濃度と比抵抗が規定されたn形酸化亜鉛層からは、波長を約510nmから約650nmとする緑色から赤色の可視光帯域で平均して80%以上の高い光の透過率を有する第1の金属酸化物層が構成できる。第1の金属酸化物層の層厚が大となれば透過率は低下するため、第1の酸化物層の層厚は約1 μm 以内とするのが望ましい。また、第1の金属酸化物層の厚さを極端に薄くすると発光部または発光部上に別に形成されたIII-V族化合物半導体層の表面の全面を十分に被覆するに至らず、オーミック接触性の不均一性が増長され、均一な順方向電圧のLEDを得るに支障となる。そのため第1の金属酸化物層の層厚は最低でも約2nmは必要である。また第2の金属酸化物層を構成するITO層のキャリア濃度、比抵抗並びに層厚の好ましい範囲は、第1の金属酸化物層をなす酸化亜鉛の場合と略同様である。上記のような好ましい範囲の仕様を有する酸化亜鉛層及びITO層の重層構造からなる窓層からは、上記の波長範囲に於いて平均して80%以上の光の透過率を発揮する窓層がもたらされる。

【0024】

【作用】発光の取り出し方向に屈折率が順次小さくなる屈折率の分布を有する構成からなる窓層は、発光を外部に効率的に取り出す作用を促進する。

【0025】酸化亜鉛からなる第1の金属酸化物層は、AlGaInPからなる発光部または発光部上に別に形成されたIII-V族化合物半導体層とのオーミック接

触において、低抵抗の接触をもたらし作用を有する。

【0026】ITOからなる第2の金属酸化物層は、第1の金属酸化物層と共に透明で導電性を有する窓層を構成し、また第1の金属酸化物層に対する透明保護層として作用する。

【0027】

【実施例】以下、本発明をAlGaInPLEDを作製した実施例を基に詳細に説明する。図1は本実施例に係わるLEDの断面構造を示す模式図である。

【0028】[110]方向に4°傾斜した(001)面を有する亜鉛ドーパのp形GaAs単結晶基板101上に、Znドーパのp形GaAs緩衝層102、Znドーパのp形 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ からなる下部クラッド層103、アンドーパのn形 $(\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 混晶からなる発光層104を順次、積層した。p形下部クラッド層103の正孔濃度は約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ とし、また層厚は約1 μm とした。また、発光層の104の層厚は約150nmとし、電子濃度は約 $5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ とした。

【0029】発光層104上には、n形の上部クラッド層105を積層させた。上部クラッド層105は、電子濃度を相違する第1乃至第3のn形層105a、105b、105cを重ねさせて構成した。第1のn形層105aは、珪素（Si）をドーピングした層厚を約1 μm とし、電子濃度を $7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ とするn形 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層から構成した。また第2のn形層105bは、Siをドーピングした層厚を100nmとし、電子濃度を $9 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ とするn形 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層から構成した。また第3のn形層105cは、セレン（Se）をドーピングした層厚を50nmとし、電子濃度を $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ とするn形 $(\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ 層から構成した。上記の緩衝層102、p形下部クラッド層103、発光層104、n形上部クラッド層105は、トリメチルアルミニウム $(\text{CH}_3)_3\text{Al}$ 、トリメチルガリウム $(\text{CH}_3)_3\text{Ga}$ 及びトリメチルインジウム $(\text{CH}_3)_3\text{In}$ をIII族元素の原料とし、ホスフィン (PH_3) をV族元素の原料とする減圧のMOCVD法により、720℃で積層した。亜鉛、珪素、セレンのドーピング原料には、ジエチル亜鉛 $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Zn}$ 、ジシラン (Si_2H_6) 、セレン化水素 (H_2Se) を使用した。

【0030】n形上部クラッド層105の表面をなす第3のn形層105c上には、一般的な高周波スパッタリング法によりアルミニウム（Al）ドーパのn形酸化亜鉛（ZnO）からなる第1の金属酸化物層106aを被着させた。第1の金属酸化物層106aの室温でのキャリア濃度は約 $3 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ とし、比抵抗は約 $3 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ とし、層厚は約250nmとした。第1の金属酸化物層106aのキャリアの移動度は約12cm

$2/V \cdot s$ であった。シート (sheet) 抵抗は約 $56 \Omega/\square$ であった。一般的なX線回折分析法により、第1の金属酸化物層をなす酸化亜鉛層は、 $\langle 0001 \rangle$ 方向 (C軸) に成長した単結晶の集合体からなる多結晶であるのが示された。

【0031】第1の金属酸化物層106a上には、ITOからなる第2の金属酸化物層106bを重ねさせた。第2の金属酸化物層106bのキャリア濃度は約 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-2}$ とし、比抵抗は約 $4 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ とした。また、層厚は約200nmとした。窓層106は第1及び第2の2層の金属酸化物層106a、106bから構成した。

【0032】窓層106上には、直径を約 $110 \mu\text{m}$ とするアルミニウム (Al) からなる円形のn形電極107を一般的なフォトリソグラフィ技術を利用して設けた。窓層106を酸化亜鉛層をITO層で被覆する構造としたため、n形電極107を塩酸 (HCl) によりエッチングして形成した際にも、酸化亜鉛層が消失することとはなかった。またGaAs基板101の裏面の全面には、金・亜鉛合金 (Au98重量% - Zn2重量%合金) を真空蒸着した後、 420°C で2分間合金化 (アロイ) 処理を施して、p形電極108を設けた。その後、一辺を約 $350 \mu\text{m}$ とする正方形のチップに裁断しLEDを作製した。

【0033】n形電極107とp形電極108との間に順方向に20mAの電流を流したところ、LEDの窓層106のはほぼ全面から赤橙色の発光が得られた。分光器により測定された上記発光のピーク波長は約620nmであった。また、発光スペクトルの半値幅は約18nmであり、単色性に優れる発光が得られた。また20mA

の順方向電流を流す際の順方向電圧は約1.95Vとなった。また、LED間での順方向電圧の変化幅は $1.95 \text{ V} \pm 0.04 \text{ V}$ 程度であり、順方向電圧の均一化が達成された。LEDの発光強度は約48ミリカンデラ (mcd) に到達した。

【0034】

【発明の効果】金属酸化物層からなる窓層を備えたAlGaInP発光ダイオードにおいて、窓層を上述したような屈折率に分布を有する構造とすれば、発光の取出し効率の高い、即ち高輝度で、且つ発光の単色性に優れ、順方向電圧が均一である高性能のAlGaInP発光ダイオードが提供される。

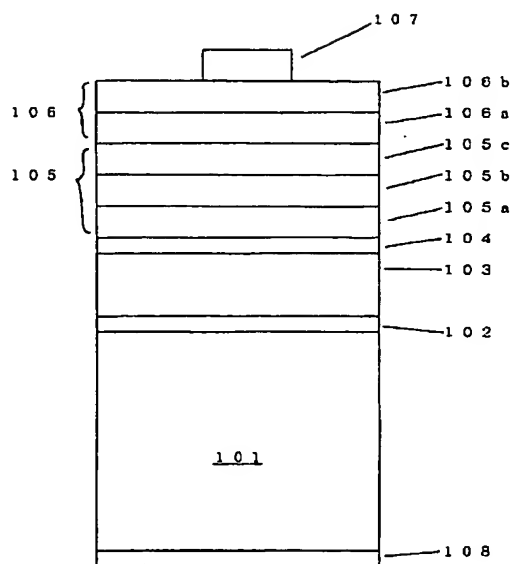
【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施例に係わるLEDの断面構造を示す模式図である。

【符号の説明】

- | | |
|------|-------------|
| 101 | p形GaAs単結晶基板 |
| 102 | p形GaAs緩衝層 |
| 103 | p形下部クラッド層 |
| 104 | 発光層 |
| 105 | 上部クラッド層 |
| 105a | 第1のn形層 |
| 105b | 第2のn形層 |
| 105c | 第3のn形層 |
| 106 | 窓層 |
| 106a | 第1の金属酸化物層 |
| 106b | 第2の金属酸化物層 |
| 107 | n形電極 |
| 108 | p形電極 |

【図1】



(7) 開2001-44496 (P2001-444JL

フロントページの続き

(72)発明者 松沢 圭一

埼玉県秩父市大字下影森1505番地 昭和電
工株式会社秩父工場内

(72)発明者 宇田川 隆

埼玉県秩父市大字下影森1505番地 昭和電
工株式会社総合研究所秩父研究室内

Fターム(参考) 5F041 AA03 AA04 AA21 CA34 CASS
CB36